

Sensor Temperatur menggunakan Pandu Gelombang Slab Berbahan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) Sebagai Hasil Fabrikasi dengan Metode *Spin Coating*

Yuni Nur Hidayati, Gatut Yudoyono, A.Y. Rohedi
Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arif Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: gyudoyono@physics.its.ac.id

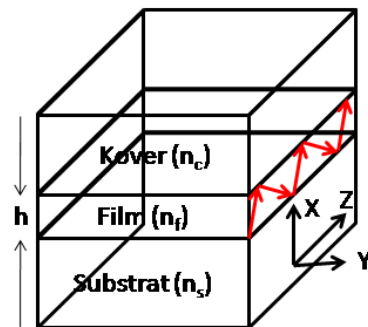
Abstrak—Panduan gelombang slab difabrikasi dengan bahan pelapisnya menggunakan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) yang mempunyai indeks bias sebesar 1,4908. Substrat yang digunakan berupa akrilik dengan dimensi $9 \times 12 \text{ mm}^2$, dan memiliki indeks bias 1,49. Proses pembuatannya menggunakan metode *Spin Coating* dengan kecepatan putaran 1000 rpm dan 2000 rpm, waktu putarannya 60 detik serta dipanaskan pada temperatur 70 °C. Pengamatan ketebalan dilakukan dengan menyinari sampel dengan lampu Halogen sehingga didapatkan ketebalannya 9 μm dengan ketelitian hingga 2,27 $\mu\text{m}/\text{pixel}$. Selanjutnya pengamatan pengaruh pandu gelombang terhadap temperatur dilakukan dengan melewati sinar laser HeNe (panjang gelombang 0,6328 μm) pada lapisan melalui serat optik *single-mode* menuju lapisan tipis PMMA. Pengamatan dilakukan tiap kenaikan temperatur sebesar 0,5 °C. Hasil analisis didapatkan sensitivitas pengukuran temperatur dari sensor pandu gelombang slab sebesar 0,5 °C/pixel pada rentang yang optimal antara 32-37,5 °C.

Kata Kunci—Panduan Gelombang Optik Slab, *Spin Coating*, *Polymethyl Methacrylate*, sensor Temperatur

I. PENDAHULUAN

Lapisan tipis berbasis *polymer* merupakan bagian yang sangat penting dalam perkembangan teknologi fotonik, seperti untuk *integrated optics*, laser, LED, sel surya, lensa kaca mata, dan peralatan astronomi. Dalam hal ini pandu gelombang slab sangat cocok dikembangkan untuk *Integrated Optics* (IO), karena mudah difabrikasi dan dapat diintegrasikan dengan komponen optik yang lain. Pandu gelombang slab ini dapat dibuat dari lapisan tipis dengan indeks bias yang sesuai. Lapisan tipis untuk pandu gelombang harus transparan, mempunyai indeks bias, ketebalan yang homogen, serta mempunyai permukaan yang halus [1].

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mendapatkan lapisan tipis dengan kualitas yang baik, sehingga ditemukan beberapa metode yang bisa digunakan dalam pembuatan lapisan tipis, salah satunya adalah dengan metode *Spin Coating* [2][3]. Metode ini cukup sederhana dan mudah dilakukan serta mampu menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas optik yang baik. Prinsip dari metode ini adalah dengan menumbuhkan suatu lapisan tipis berindeks bias tinggi di atas substrat yang berindeks bias lebih rendah. Proses ini akan menghasilkan lapisan tipis pemandu gelombang diantara daerah berindeks bias rendah, yaitu substrat dan udara. Sehingga, cahaya dibatasi oleh pantulan



Gambar 1. Struktur Pandu Gelombang Slab dan lintasan gelombang yang terpandu pada Film

dalam total pada bidang batas film-substrat dan film-kover. Pandu gelombang yang paling sederhana struktur geometrinya adalah Pandu Gelombang Slab, yaitu terdiri dari film tipis (indeks bias n_f) yang terletak diantara substrat (n_s) dan kover (n_c) yang berupa udara [4][5] seperti pada Gambar 1. Pandu gelombang slab dibedakan atas struktur simetri (apabila substrat dan kovernya terbuat dari bahan yang sama) dan struktur asimetri (apabila substrat dan kovernya terbuat dari bahan yang berbeda).

Dalam penelitian ini digunakan akrilik sebagai substrat dan *Polymethyl Methacrylate* dengan indeks bias 1,4908 pada suhu 70 °C [6] sebagai bahan dari lapisan tipis (film) pandu gelombang slab. Untuk pengembangan teknologi terutama dalam bidang sensor, pandu gelombang slab ini dapat diaplikasikan sebagai sensor temperatur. Harapannya, sensor tersebut dapat dimanfaatkan secara luas, misalnya untuk mengukur temperatur badan, temperatur lingkungan sekitar, atau bahkan untuk mengukur panas bumi (*geothermal*). Namun, dalam pengaplikasian pandu gelombang slab hasil fabrikasi sebagai sensor temperatur perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik dari pandu gelombang tersebut. Untuk itu perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh temperatur dan sensitivitas pengukuran temperatur dari sensor pandu gelombang slab.

Proses pemanduan cahaya dalam suatu pandu gelombang dapat dijelaskan menggunakan konsep penjalaran sinar optik dengan didasarkan pada hukum pemantulan dan pembiasan Snellius. Menurut hukum Snellius, hubungan antara gelombang datang dan gelombang yang diteruskan ditunjukkan oleh persamaan 1.

$$\sin \theta_i = \frac{n_s}{n_f} \sin \theta_t \quad (1)$$

Ketika indeks bias film lebih besar dari indeks bias cover ($n_f > n_c$) dan pada $\theta_i = \pi/2$, tidak ada gelombang yang merambat pada daerah kover sehingga dapat dikatakan gelombang mengalami pemantulan dalam total pada daerah film seperti pada Gambar 2, sehingga untuk sudut kritis dapat dituliskan pada persamaan 2.

$$\sin \theta_{\text{kritis}} = n_c/n_f \quad (2)$$

sehingga dapat pula dikatakan bahwa pemantulan dalam total dapat terjadi bila sudut masukannya lebih besar daripada sudut kritis [7][8].

Proses pemanduan gelombang cahaya pada pandu gelombang slab sebagaimana Gambar 1 arah getarnya sejajar sumbu y. Perumusan perambatan gelombang elektromagnetik dalam pandu gelombang didasarkan pada persamaan Maxwell, yaitu:

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (3a)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (3b)$$

$$\nabla \cdot \epsilon \vec{E} = \rho_f \quad (3c)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3d)$$

dengan ϵ merupakan permitivitas medium, μ adalah permeabilitas medium, dan ρ_f adalah rapat muatan bebas yang terkandung dalam medium.

Parameter-parameter penting tak berdimensi yang berhubungan dengan proses fabrikasi pandu gelombang slab lapisan tipis ini antara lain:

$$V = k_0 h \sqrt{n_f^2 - n_s^2} \quad (4)$$

$$a = \frac{n_s^2 - n_c^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad (5)$$

$$b = \frac{N^2 - n_s^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad (6)$$

dengan V merupakan frekuensi ternormalisasi, b merupakan indeks bias efektif ternormalisasi, dan a merupakan faktor ketidak simetrisan indeks bias substrat-cover. Sehingga jika $a=0$, pandu gelombang tersebut dapat dikatakan simetris dan sebaliknya jika $a \neq 0$ pandu gelombang disebut asimetris. Oleh karena itu diperoleh pula persamaan relasi dispersi seperti pada persamaan 7 [9].

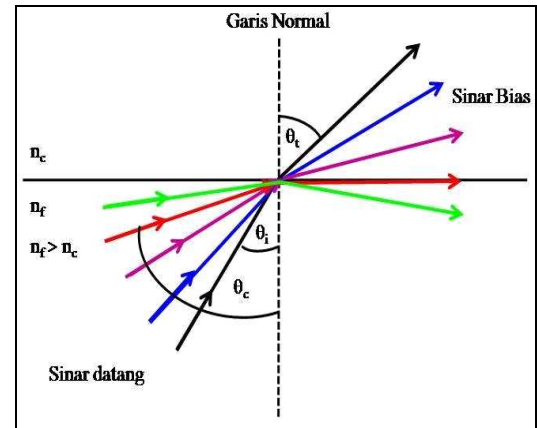
$$V\sqrt{1-b} = m\pi + \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{b}{1-b}}\right) + \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{b+a}{1-b}}\right) \quad (7)$$

Persamaan relasi dispersi ternormalisasi untuk gelombang optik modus TE dan modus TM yang terpandu di sepanjang pandu gelombang slab dapat dinyatakan dengan suatu kurva V dan b seperti pada Gambar 3 [10].

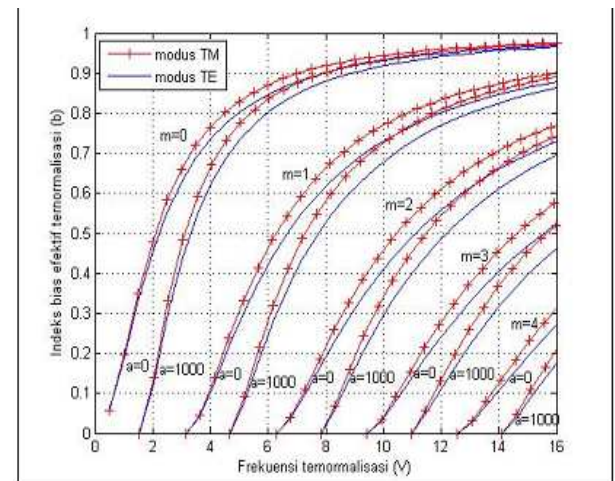
II. METODE PENELITIAN

A. Tahap Persiapan

Dalam preparasi larutan, larutan PMMA dituangkan ke dalam gelas ukur hingga mencapai 10 mL. Sedangkan dalam preparasi substrat, substrat akrilik dipotong dengan ukuran lebar 9 mm dan panjangnya 12 mm kemudian dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan sabun dan dibilas dengan aquades kemudian dikeringkan. Setelah itu substrat direndam dalam alkohol lalu dikeringkan kembali. Proses tersebut diulangi kembali jika substrat belum bersih.



Gambar 2. Sinar datang dari medium rapat (n_f) ke medium renggang (n_c)



Gambar 3. Grafik Relasi dispersi antara frekuensi ternormalisasi (V) dengan indeks bias ternormalisasi (b) untuk 5 moda terendah [10]

B. Tahap Penumbuhan Lapisan Tipis

Penumbuhan lapisan tipis *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) dilakukan dengan cara meletakkan substrat yang telah dibersihkan pada dudukan sampel. Kemudian meneteskan larutan PMMA sebanyak 0,45 mL diatas permukaan substrat. Setelah itu diputar menggunakan *spin coater* pada kecepatan 1000 dan 2000 rpm dengan waktu putarannya yaitu 60 detik dan dipanaskan pada suhu 70°C.

C. Karakterisasi Ketebalan Lapisan Tipis PMMA

Proses karakterisasi penentuan ketebalan lapisan tipis ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop yang dilengkapi dengan *webcam* yang telah dihubungkan dengan PC (*Personal Computer*) sehingga gambar lapisannya dapat dilihat langsung pada komputer. Dalam proses ini diambil dua gambar untuk menghitung kalibrasi ketebalan dengan cara melakukan pergeseran mikrometer yang telah terintegrasi pada mikroskop kemudian ditentukan letak pixel yang merupakan ketebalan lapisan menggunakan *ImageJ*, maka akan didapatkan konversi nilai pixel. Setelah nilai konversi pixel diperoleh, maka pengukuran ketebalan lapisan dapat dilakukan dengan mudah, yaitu hanya dengan cara menarik garis lurus pada tebal lapisan dengan menggunakan *software Supereyes*.

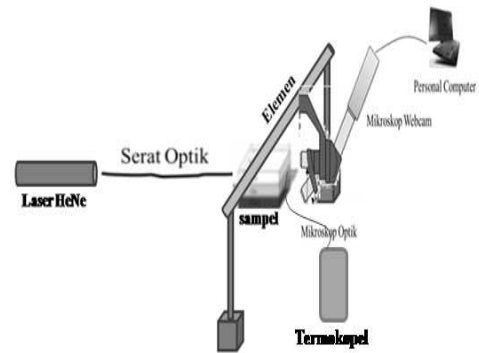
D. Pengamatan Pandu Gelombang pada Lapisan Tipis

Langkah pertama yang dilakukan dalam proses ini adalah mengkondisikan sinar masukan yaitu dengan memasukkan

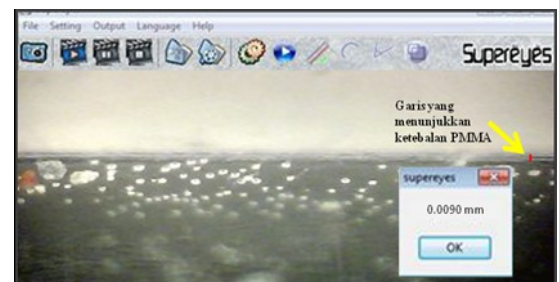
sinar laser He-Ne pada serat optik *single mode*, kemudian dimasukkan pada lapisan tipis. Keluaran dari lapisan tipis diamati dengan menggunakan mikroskop *webcam* yang dihubungkan dengan *personal computer* sehingga terlihat pada monitor.

E. Pengamatan Pengaruh Suhu terhadap Lapisan Tipis PMMA Pemandu Gelombang

Untuk pengamatan pengaruh suhu pada lapisan tipis pemandu gelombang dilakukan dengan cara elemen setrika diletakkan 0,5 cm di atas *waveguide* lapisan tipis *Polymethyl Methacrylate* dan perubahan gambar yang terjadi diambil/difoto setiap kenaikan suhu 0,5 °C. Untuk menganalisis gambar hasil pengamatan digunakan program *imageJ* sehingga didapatkan grafik hubungan antara suhu dan pergeseran pixel posisi gelombang terpandu. Adapun *set up* alat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



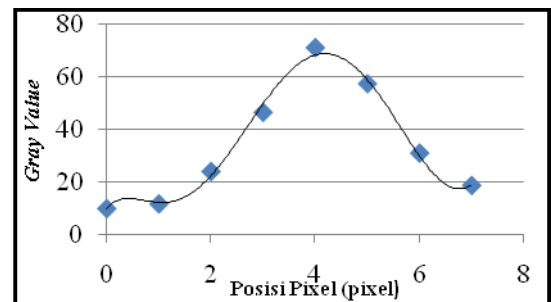
Gambar 4. *Set up* alat pengamatan pandu gelombang



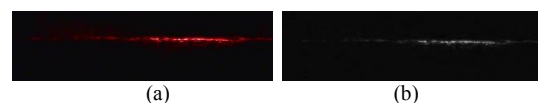
Gambar 6. Hasil pengukuran ketebalan lapisan tipis PMMA



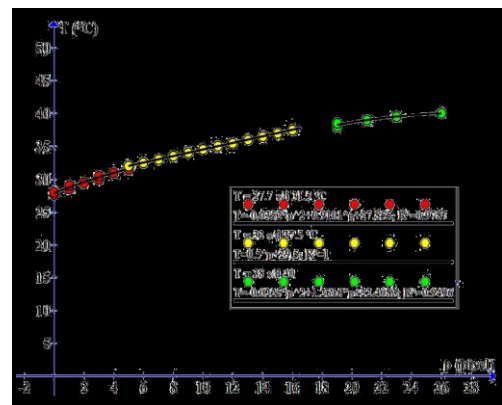
Gambar 7. Hasil pengamatan pandu gelombang lapisan tipis PMMA



Gambar 8. Hasil pengolahan gambar pandu gelombang lapisan tipis PMMA dengan menggunakan *ImageJ*



Gambar 9. Hasil pengamatan pandu gelombang, (a) pada suhu 27.7 °C, (b) pengolahan gambar menggunakan *ImageJ*



gelombang terpandu orde moda terendah. Hal ini mengindikasikan bahwa Pandu Gelombang Slab hasil fabrikasi dapat menyalurkan energi gelombang optik moda tunggal (*single mode*).

C. Hasil Pengamatan Pengaruh Suhu terhadap Pandu Gelombang Slab

Gambar 9(a) merupakan data yang diperoleh dari hasil pengamatan gelombang yang terpandu pada film saat temperatur ruang 27,7 °C. Data pada Gambar 9(a) tersebut kemudian dilakukan pengolahan citra menggunakan *ImageJ* dengan merubah data tersebut menjadi *grayscale* seperti pada Gambar 9(b). Pada penelitian ini didapatkan data pengamatan pengaruh temperatur terhadap posisi gelombang terpandu tiap kenaikan 0,5 °C mulai dari suhu 28 °C hingga 40 °C. Dengan pengolahan menggunakan *ImageJ* diperoleh besarnya pergeseran puncak pixel dalam arah sumbu y seperti pada Tabel 1. Perubahan gelombang yang terpandu pada film ketika diberi perlakuan berupa pemanasan dengan suhu yang terus meningkat ini mungkin saja bisa terjadi karena *polymer* termasuk juga *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) memiliki sifat yang khas yaitu strukturnya mudah berubah jika ada perubahan suhu [11]. Jika suhu berubah maka akan terjadi pergerakan molekul-molekul yang menyebabkan terjadinya perubahan pada struktur *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) itu sendiri. Dengan kata lain, dengan adanya pemanasan maka akan terjadi reaksi kimia diantara molekul-molekul penyusun PMMA dan hal ini pasti akan mempengaruhi sifat kimia maupun sifat fisika dari PMMA tersebut. Pada Tabel 1 terlihat bahwa terjadi pergeseran posisi terpandu tiap kenaikan temperatur. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya pemberian suhu tertentu maka volume lapisan PMMA akan memuai dan akibatnya ketebalan dari lapisan akan bertambah sehingga posisi gelombang terpandu akan menyesuaikan tebal lapisan.

Data-data pada Tabel 1 dapat dibuat sebuah grafik temperatur sebagai fungsi pergeseran pixel seperti pada Gambar 10. Gambar 10 menunjukkan bahwa temperatur memiliki fungsi yang linear terhadap perubahan posisi *pixel* terpandu dengan persamaan $T = 0,5p + 29,5$. Dari persamaan tersebut T menunjukkan temperatur (°C) dan p menunjukkan pergeseran posisi pixel puncak intensitas gelombang terpandu (pixel). Pada persamaan tersebut didapatkan bahwa nilai gradiennya sebesar 0,5 °C/pixel pada rentang temperatur 32-37,5 °C dengan nilai gradien dapat dinyatakan sebagai nilai sensitivitasnya. Untuk rentang temperatur 27,7-31,5 °C didapatkan sebuah grafik yang didekati menggunakan fungsi polinomial orde 2 dengan persamaan $T = -0,0352p^2 + 0,9101p + 27,855$. Sedangkan untuk rentang temperatur 38-40°C juga didapatkan sebuah grafik yang didekati menggunakan fungsi polinomial orde 2 dengan persamaan $T = -0,0225p^2 + 1,2616p + 22,4083$. Setelah diberikan perlakuan panas dan dilakukan kembali pengukuran ketebalan lapisan, diperoleh bahwa ketebalan lapisan PMMA sebesar 12,4 µm. Hasil pengukuran ketebalan lapisan PMMA setelah diberi perlakuan temperatur ini membuktikan bahwa lapisan PMMA memang mengalami pemuaian sehingga lapisan akan bertambah tebal.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memfabrikasi lapisan tipis berbahan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) yang dimanfaatkan sebagai pandu gelombang slab dengan menggunakan metode *Spin Coating* pada kecepatan putaran

Tabel 1. Data pergeseran posisi pixel tiap kenaikan temperatur 0.5 °C pada posisi pixel sumbu x = 204

No.	Temperatur (°C)	Posisi pixel sumbu y	Pergeseran posisi (pixel)	Gray Value
1	27,7	107	0	193
2	28,0	107	0	170
3	28,5	106	1	199
4	29,0	106	1	198
5	29,5	105	2	160
6	30,0	104	3	126
7	30,5	104	3	71
8	31,0	103	4	102
9	31,5	102	5	106
10	32,0	102	5	77
11	32,5	101	6	88
12	33,0	100	7	83
13	33,5	99	8	37
14	34,0	98	9	20
15	34,5	97	10	15
16	35,0	96	11	19
17	35,5	95	12	23
18	36,0	94	13	28
19	36,5	93	14	49
20	37,0	92	15	26
21	37,5	91	16	24
22	38,0	88	19	11
23	38,5	88	19	11
24	39,0	86	21	10
25	39,5	84	23	37
26	40,0	81	26	14

1000 dan 2000 rpm selama 60 detik dan diperoleh nilai ketebalan lapisannya sebesar 9 µm. Sensitivitas pengukuran temperatur dari sensor pandu gelombang slab hasil fabrikasi adalah 0,5 °C/pixel pada rentang sensor temperatur yang optimal antara 32-37,5 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chopra, K.N, Maini, A.K, *Thin Films and Their Applications in Military and Civil Sectors*. New Delhi, Metcalfe House (2010).
- [2] Holland, W.R. *Fabrication and Characterization of Polymeric Lightwave Devices*. New York, Marcel Dekker (1992).
- [3] Schubert, D.W & T. Dunkel, *Spin coating from a molecular point of view: its concentration regimes, influence of molar mass and distribution*. Mater. Res. Innovations (2003) 7-314.
- [4] Bahtiar, Ayi. dkk., *Fabrikasi dan Karakterisasi Pandu Gelombang Planar Polimer Terkonjugasi*. Bandung, Jurusan Fisika FMIPA UNPAD (2006).
- [5] Tamir, *Integrated Optics*. New York, Springer – Verlag Berlin Heidelberg (1990).
- [6] Tanio, N., & Nakanishi, T., *Physical Aging and Refractive Index of Poly(methyl methacrylate) Glass*. Polym. J (2006) 38(8), 814-818.
- [7] Rancourt, James D., *Optical Thin Films*. New York, Macmillan Publishing Company (1987).
- [8] Sunarno, Hasto., *Optika Serat*. Surabaya, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITS (2000).
- [9] Rubiyanto, Agus dan A.Y. Rohedi, *Optika Terpadu*. Surabaya, Buku Ajar Jurusan Fisika FMIPA ITS (2003).
- [10] Sudarsono, "Fabrikasi dan Karakterisasi Devais MMI Sebagai Pembagi Daya Modus TE dan Modus TM," Magister, thesis Jurusan Fisika FMIPA - ITS, Surabaya (2009).
- [11] Roos and Immonen, "Polymers for Optical Waveguide. Technology Evaluation Report for Optical Interconnections and Enabling Technologies," Helsinki University of Technology: 20-21 (April 2002).